

京都大学工学部 正員 工修 宗宮 功
京都大学工学部 学生員 ○藤原正弘

緒言 下水処理において 操作費用の相当部分がさかれるばう気については 経済的なばう気法の開発という面から、かなり研究がなされつつある。ばう気槽のばう気機構を實際規模の槽で考察するのは理想であるが、これは実際には困難である。したがって多くの場合、實際槽をスケールダウンした模型槽を用いて実験を行ない、この装置の特性から實際規模の特性を予想しようとする。しかし、ここで得られた結果はそのまま實際槽に適用できないことはいうまでもない。したがって実験槽と實際槽との間の関係、すなわち、スケール効果がどのように表示されるかを考察することは 研究を實際面に役立たせるために、非常に大切なことである。スケールアップの基準になる仮定として、実験槽は幾何学的に相似とし、その実験槽で得られる結果と同じ酸素供給能 (PPM/hr) をうるには、實際槽において、何倍の空気速度を必要とするかを考察してみた。

スケールアップに関する算定式

(I) 合葉か 醗酵槽用に提案した式 実験槽には添字 m 實際規模のものには p を附すことにする。スケールアップの目安としては、この場合 $(k_L A)_m = (k_L A)_p$ とし、統括容量係数 $k_L A$ は気泡による $(k_L A)_v$ と大気による $(k_L A)_s$ の二つを考え、 P 槽においては、 $k_{Lb} A_b \gg k_{Ls} A_s$ とし、さらに $(k_L)_p = (k_L)_m$ と仮定する。ここで、 $\alpha = (k_L A_s / k_L A_b)_m$ とおけば、

$$\xi = (G/V)_p / (G/V)_m = \xi^{(9n-2)/(2-3n)} (1+\alpha)^{3/(2-3n)} \dots (1)$$

となる。この ξ は實際槽の實驗槽に対する単位液量当りの吹き込み空気量の比であり、 ξ は縮尺率である。図-1 は $n=1/6$ を實驗値から推定し、 ξ - ξ の関係を表わしたものである。

(II) King の式からみたスケールアップ ここではスケールアップの目安として M 槽と P 槽の酸素吸収能 (PPM/hr) は等しい、すなわち $(k_L a U)_m = (k_L a U)_p$ とする。ここで U は酸素不足量 (PPM) を示す。散気板面積対槽表面積比 $1/0$ に対して

$$A (\text{PPM/hr}) = 0.0175 C H^{0.75} U^Y R^N (1.024)^T / d^{0.70} \dots (2)$$

$A = k_L a U$ であるが、ここで實驗式、 d の単位が cm が成立するものとするとき

$$\xi = (U_p^Y / U_m^Y) = 2.25 \xi^{-0.915} U^{2.08} (H_m^{0.1} - H_p^{0.1}) \cdot U_m^{0.118} \dots (3)$$

図-2 は ξ - ξ の関係を、 $H_m = 45.0 \text{ cm}$ に対して図示したものである。

(III) 統括容量係数からの推定 (II) と同様 $A_m = A_p$ としてスケールアップを考える。酸素供給能については $A = k_L a U = (k_{Lb} A_b + k_{Ls} A_s) \frac{U}{V}$ したがって

$$(k_{Lb} A_b + k_{Ls} A_s)_p / (k_{Lb} A_b + k_{Ls} A_s)_m = (U_m / U_p) (V_p / V_m) \dots (4)$$

$(k_{Ls})_p = (k_{Ls})_m$ と仮定し、また $k_{Lb} = \alpha H^{-\sigma}$ を与え、さらに $\alpha = (k_{Ls} A_s / k_{Lb} A_b)_m$ とすれば、

$$(1/\alpha \xi) \{ (H_p / H_m)^{\sigma} (A_b / A_{bm}) + \alpha (A_s / A_{sm}) \} = (U_m / U_p) (V_p / V_m) \dots (5)$$

となる。気泡の全接触面積は、 M 槽および P 槽における気泡のホールドアップ傾向が一定であると仮定すると、實驗式より、 $A_b = \alpha \delta U_a^{0.581} V$ と表わされることから

$$A_{bp}/A_{bm} = (V_p/V_m)(U_{ap}/U_{am})^{0.581} = (V_p/V_m)(H_p/H_m)^{0.581}(U_{ap}/U_{am})^{0.581} = 2^{2.581}(U_{ap}/U_{am})^{0.581} \dots (6)$$

となる。水表面の接触面積は、単位面積あたりの供給能は流速の1.75乗に比例するとする考えを用い、槽表面積を A とあらわすと、 $(A_{bp}/A_{bm}) = (U_{bp}/U_{bm})^{1.75}(\alpha_p/\alpha_m) \dots (7)$

さらに表面流速については、旋回流の槽一循環時間から考察すると、

$$(U_{bp}/U_{bm}) = (\alpha'_m/\alpha'_p)^2 (U_{ap}/U_{am})^{0.385} \dots (8)$$

という関係式を得、式(7)に代入すると、

$$A_{bp}/A_{bm} = (\alpha'_m/\alpha'_p)^{1.75} 2^{2.581} (U_{ap}/U_{am})^{0.684} \dots (9)$$

となる。以上式(6)と式(9)を式(5)に代入し、さらにその式において、

$$U = C_{50}(1 + H/206P) \text{ と表わし、} M$$

槽とP槽の温度は同一とすると

$$\xi^{0.581} + 0.302 \xi^{0.526} (\alpha'_m/\alpha'_p)^{1.75} (U_{ap}/U_{am})^{0.684} = (H\alpha) \xi^{0.581} (206P + H_m)/(206P + H_p) \dots (10)$$

ここで、実験値とKingのデータから、

$$\alpha'_m = 3.12, \alpha'_p = 6.20 \text{ を用いると } \alpha'_m/\alpha'_p = 0.503$$

となる。また δ の値については、Ippenのデータから推定すれば、 $\delta = 0.357$ として与えられている。式(10)に代入すれば

$$\xi^{0.581} + 0.302 \xi^{0.526} \xi^{0.684} = (H\alpha) (206P + H_m)/(206P + H_p) \xi^{-0.224} \dots (11)$$

上式において α を与え、また所定の ξ を与えれば ξ は計算される。図-3は α をパラメーターとし、 $H_m = 45.0\text{cm}$ に対する ξ - η の関係を示している。

考察 以上スケールアップ効果を三つの角度からみてきた。図-1は図-3の場合よりも幾分多量の空気が要すると思われるが安全側であろう。また一応図-2からは、 $\xi = 10$ で $\eta = 0.35 \sim 0.5$ となる。図-3は ξ が10前後で α のいかんにかかわらず $\eta = 0.28 \sim 0.34$ である。また ξ がより小さい場合は α の増加に応じ相対的に多量の空気を要することを示し、合葉の示した傾向と一致するか、それ以上においては、逆に α が大きくなるほど空気量は少なくて済むことを示している。

